

# توزیع مکانی شاخص واحد سمیت و ارزیابی ریسک محیط زیستی برخی فلزات سنگین در غبار صنعتی شهرستان اردکان بر اساس تجزیه و تحلیل های زمین آماری در سال ۱۳۹۷

سعید شجاعی برجوئی<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا عظیم زاده<sup>۱</sup>، اصغر مصلح آرائی<sup>۱</sup>، محمدرضا علمی<sup>۱</sup>

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

## چکیده

**زمینه و هدف:** فلزات سنگین از جمله آلاینده های مخرب محیط زیست هستند که به دلیل اثرات فیزیولوژیکی نامطلوب بر موجودات زنده در غلظت های کم، حائز اهمیت اند. اهداف اجرای این پژوهش، اندازه گیری غلظت برخی فلزات سنگین در غبار صنعتی، ارزیابی و توزیع مکانی شاخص های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی فلزات با استفاده از تکنیک های زمین آماری کریجینگ است.

**روش ها:** این مطالعه توصیفی- تحلیلی و مقطعی در زمستان سال ۱۳۹۷ با نصب ۳۵ ایستگاه رسوب گیر در پیرامون تعدادی از صنایع شهرستان اردکان انجام شد. با جمع آوری نمونه های غبار و اندازه گیری غلظت کادمیوم، کروم، وانادیوم، منگنز و آلومینیوم توسط دستگاه ICP-MS، شاخص های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی عناصر مورد ارزیابی قرار گرفتند. با در نظر گرفتن نسبت اثر قطعه به حد آستانه در مدل های کروی، گوسی، پایدار و نمایی نیم-تغییرنا و اعتبارسنجی آن ها با استفاده از معیارهای نظیر مجذور مربع خطا، مجذور مربع خطا استاندارد شده و میانگین استاندارد شده، بهترین روش کریجینگ برای تهیه نقشه توزیع مکانی شاخص ها انتخاب گردید.

**نتایج:** میانگین غلظت آلومینیوم، منگنز، وانادیوم، کروم و کادمیوم به ترتیب ۵۱۱۰۹/۱۱، ۲۴۸/۰۲، ۱۵۲/۷۴، ۵۹/۵۴ و ۲/۰۷ mg/kg در غبار اندازه گیری شد. ریسک محیط زیستی غبار صنعتی در کلاس بسیار بالا تعیین گردید. شاخص واحد سمیت غبار صنعتی کمتر از ۴ بود. نتایج پارامترهای نیم-تغییرنا و اعتبارسنجی معیارها نشان داد، بهترین روش برای توزیع مکانی شاخص ها، روش کریجینگ ساده با مدل های نیم-تغییرنا کروی برای شاخص ریسک محیط زیستی و پایدار برای شاخص واحد سمیت است.

**نتیجه گیری:** کادمیوم و کروم در فصل زمستان سمیت حاد در غبار ایجاد نمی کنند. نتایج این مطالعه بیانگر تاثیر صنایع در افزایش ریسک محیط زیستی فلزات سنگین است. همچنین جهت باد غالب منطقه نقش مهمی در پراکندگی فلزات سنگین دارد.

## مقدمه

از طریق جذب توسط گیاهان وارد زنجیره غذایی انسان شده و مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی متعددی بجا می گذارند (۱). (۲). در تحقیقات زیست محیطی از شاخص های مختلفی برای مقایسه، ارزیابی، پایش و همچنین مدیریت اثرات عناصر سمی

انتشار غبار از دودکش ها و تاسیسات صنعتی، باعث تجمع فلزات سنگین در خاک های پیرامون صنایع می شود. تجمع فلزات سنگین در خاک سطحی علاوه بر اثراتی که بر فون و فلور خاک دارد، از طریق انتقال به آب های زیر زمینی موجب آلودگی آب و

پهنه بندی منطقه بر اساس محاسبات مربوط به شاخص زمین انباشت مولر (I<sub>geo</sub>) به این نتیجه رسیدند محدوده اطراف معدن در کلاس شدیداً آلوده قرار دارد (۹). Nikravesht و همکاران توانستند با استفاده از تکنیک زمین آمار توزیع مکانی سرب، روی، مس، نیکل، کادمیوم و کروم در اراضی اطراف مجتمع صنعتی سمنان بررسی کنند. نتایج آن‌ها نشان داد غلظت کروم و نیکل در اطراف مجتمع صنعتی از توزیع مکانی خاصی تبعیت نمی‌کند (۱۰). با این حال، پژوهش حاضر با هدف سنجش غلظت فلزات سنگین کروم، کادمیوم، آلومینیوم، منگنز، وانادیوم در غبار فصل زمستان و محاسبه شاخص‌های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی آن در پیرامون کارخانجات کاشی سرامیک، شن ماسه، شیشه و خاک چینی واقع در شهرستان اردکان انجام شده است.

#### روش‌ها

این مطالعه توصیفی، تحلیلی و مقطعی در زمستان ۱۳۹۷ در شهرستان اردکان استان یزد در بخشی از یک ناحیه صنعتی به وسعت ۲۰ کیلومتر مربع در مکان استقرار صنایع کاشی سرامیک، شن ماسه، خاک چینی و شیشه انجام شد. موقعیت مکانی صنایع مذکور به گونه‌ای است که در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی " ۲۰°۲۰' تا " ۳۲° ۱۸'۴۴" عرض شمالی و " ۵۳° ۵۳'۲۳" تا " ۵۳° ۵۷'۰۴" طول شرقی و در ضلع شمال غربی شهرستان اردکان واقع شده‌اند. جامعه آماری همان نمونه‌های غبار جمع‌آوری شده است. با توجه به اینکه جمعیت انسانی در فاصله ۲ کیلومتری از صنایع مذکور در روستاهای ترک آباد و شهرآباد مستقر بود، تعدادی از تله‌ها در این نواحی نصب گردید. نمونه‌گیری از ناحیه مورد مطالعه از نوع سیستماتیک تصادفی به صورت مرکب با استفاده از تله‌های چمن مصنوعی بود (۱۱). با بازدید میدانی و مشاهده عکس‌های هوایی، منطقه مورد مطالعه به شبکه‌های ۱۰۰ m × ۱۰۰ m تقسیم‌بندی و محل تلاقی شبکه‌ها به عنوان موقعیت نقاط نمونه- برداری تعیین شد. با حذف تعدادی از نقاط انتخابی که در مکان‌های نامناسب (زمین محل استقرار صنایع، جاده و غیره)

استفاده شده است. پهنه بندی این شاخص‌ها می‌تواند تصویر روشنی از شدت آلودگی فلزات سنگین در نقاط مختلف مناطق آلوده در اختیار مدیران جهت ارائه راهکارهای مدیریتی گذارد (۳). از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار به نام زمین آمار برای توصیف و صورت بندی الگوی تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها و تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی پا به عرصه تحقیقات نهاد. تفاوت این علم با آمار کلاسیک در این است که در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شوند، فاقد بعد مکانی بوده و در نتیجه مقدار اندازه گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی در مورد مقدار همان کمیت در نمونه دیگر به فاصله معین و معلوم در بر نخواهد داشت (۴). در حالی که در زمین آمار افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت مکانی (فاصله و جهت) نمونه نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این ارتباط مکانی بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده، ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد که به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود. گفتنی است که روش‌های مختلف زمین آمار بسته به نوع متغیر دقت متفاوتی دارند (۵).

بسیاری از محققین با اهداف ویژه‌ای از روش‌های مختلف زمین آماری استفاده نموده‌اند (۶). Nowrouzi و Ravanbakhsh نیز با هدف ارزیابی توزیع مکانی کادمیوم در خاک‌های سطحی اراضی اطراف پالایشگاه شیراز از تکنیک زمین آمار استفاده نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین غلظت این فلز در نزدیکی پالایشگاه بوده و بالاتر از حد مجاز است (۷). Zamani و همکاران با استفاده از تکنیک زمین آمار چند متغیره کریجینگ ساده، جامع و معمولی به بررسی چگونگی توزیع فلزات سنگین در اطراف کارخانه سیمان کردستان پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد میانگین غلظت کادمیوم، سرب و مس در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه بیشتر از میانگین استاندارد جهانی است (۸). Ghaznfari Moghaddam و همکاران با اندازه‌گیری غلظت فلز مس در خاک سطحی پیرامون معدن مس میدوک و

است که می‌تواند باعث ایجاد عوارض نامطلوب در غبار منطقه گردد. مقدار PEL برای کروم و کادمیوم به ترتیب برابر با ۱۶۰/۰۴ و ۴/۲۱ mg/kg است.

$$\text{رابطه ۲: } \text{TU}_{II} = \frac{\text{Metals}}{\text{PEL}}$$

شاخص تجمعی واحد سمیت ( Toxicity Unit Integrated Index ) برای ارزیابی پتانسیل سمیت حاد مجموع دو فلز کادمیوم و کروم در غبار استفاده می‌شود. چنانچه مقادیر TU<sub>II</sub> در غبار بیش‌تر از ۴ باشد سمیت حاد وجود دارد و اگر مجموع آن کمتر از ۴ باشد سمیتی وجود ندارد (۱۳).

برای ارزیابی ریسک محیط زیستی غبار صنعتی، غلظت هر یک از فلزات سنگین نسبت به غلظت عناصر در دامنه طبیعی سنجیده شد (رابطه ۳ و ۴) این شاخص می‌تواند معیار مناسبی از ارزیابی میزان دخالت فعالیت‌های انسانی تلقی گردد.

$$\text{رابطه ۳: } I_{ER} = \sum_{i=1}^n I_{ERi}$$

$I_{ER}$  = شاخص تجمعی ریسک محیط زیستی عناصر مورد مطالعه،  $I_{ERi}$  = شاخص ریسک محیط زیستی عنصر  $i$ ام.

$$\text{رابطه ۴: } I_{ERi} = \frac{A_{ci}}{R_{ci}} - 1$$

$A_{ci}$  = غلظت عنصر  $i$ ام در محیط،  $R_{ci}$  = غلظت حد مجاز عنصر  $i$ ام در محیط

ارزیابی ریسک محیط زیستی باید به صورت نسبت غلظت به دست آمده برای ماده مورد نظر در محیط به غلظتی که به عنوان شاخص ریسک عنوان می‌شود بیان گردد. غلظت زمینه، بهترین غلظت به عنوان غلظت حد مجاز فلزات استفاده می‌شود. غلظت زمینه در این پژوهش با حفر پروفیل ۳ الی ۵ متری خاک که توسط Siyahati Ardakani و همکاران در شهرستان اردکان اندازه‌گیری شده بود، استفاده گردید. غلظت زمینه برای فلزات کروم، کادمیوم، منگنز، آلومنیوم و وانادیوم به ترتیب برابر با ۲۰، ۰/۳۲، ۵۵۲، ۸۴۹۸ و ۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. طبقه بندی ریسک محیط زیستی به صورت:  $I_{ER} < 0$  بدون ریسک،

قرار گرفته بودند، ۳۵ نمونه مشخص گردید و اطلاعات موقعیت مکانی آن‌ها در دستگاه موقعیت یاب جهانی ( Global Positioning System ) برای نصب ایستگاه‌ها و شناسایی مجدد آن‌ها در مرحله جمع‌آوری غبار ثبت گردید. گفتنی است که در انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری سه فاکتور هواشناسی، توپوگرافی و جمعیت تحت تاثیر لحاظ شد. با گذشت سه ماه از نصب تله‌ها در اواخر فصل زمستان، تله‌های رسوب‌گیر جمع‌آوری و غبار موجود در آن‌ها استخراج شد. سپس توسط ترازو الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرمی مدل GR-200 ساخت ژاپن وزن نمونه‌های غبار به دست آمد. با ثبت مشخصات ایستگاه و برچسب‌گذاری بر روی نمونه‌ها، نمونه‌های غبار به آزمایشگاه مرکزی زر آزما تهران فرستاده شد تا با استفاده از دستگاه طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القایی ( Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry ) مدل Perkin-Elmer ELAN 9000، فلزات سنگین شامل کروم، کادمیوم، آلومنیوم، منگنز، وانادیوم قرائت گردد. با استفاده از رابطه حد کفایت نمونه (رابطه ۱) درصد خطای نمونه‌برداری برای هر یک از فلزات سنگین مورد بررسی مشخص گردید.

$$\text{رابطه ۱: } N = \frac{t^2 \times CV\%^2}{E\%^2}$$

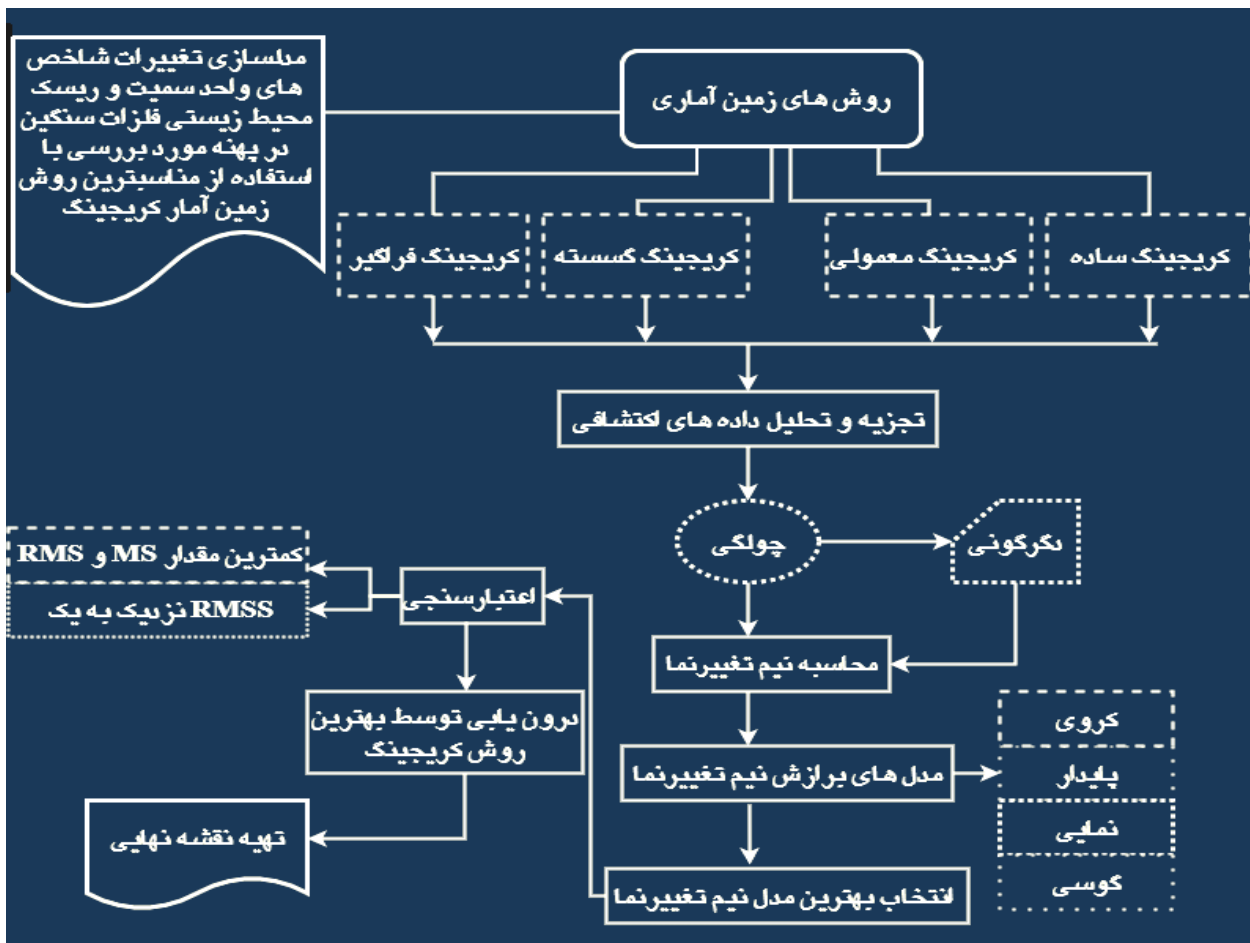
در این رابطه؛  $N$ : تعداد نمونه‌های لازم،  $E$ : درصد خطا،  $CV$ : ضریب تغییرات که برابر است با نسبت انحراف معیار داده‌ها به میانگین مقادیر نمونه‌گیری اولیه. در این مطالعه، مقدار  $t$  در سطح معنی‌دار ۵ درصد برابر با ۱/۹۶ با در نظر گرفتن درجه آزادی بی‌نهایت تعیین گردید (۱۲).

### ارزیابی شاخص‌های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی

**فلزات سنگین:** برای ارزیابی میزان سمیت فلزات سنگین کادمیوم و کروم در غبار صنعتی از شاخص پتانسیل سمیت حاد فلزات استفاده شد. شاخص پتانسیل سمیت حاد غبار به صورت مجموع واحدهای سمی برآورد می‌گردد. هر واحد سمی به صورت نسبت غلظت فلز مورد نظر به مقدار سطح اثرات احتمالی ( Probable Effects Level (PEL)) آن فلز محاسبه می‌گردد (رابطه ۲). مقدار PEL بیانگر غلظت بالای فلز سنگین

(Ordinary)، گسسته (Disjunctive) و فراگیر (Universal) انتخاب گردید. جهت نشان دادن پیوستگی مکانی شاخص های اکولوژیکی، پارامترهای نمودار نیم تغییرنا نظیر اثر قطعه (Nugget)، حد آستانه (Sill)، تعداد گام (Lag)، دامنه (Range) برای چهار مدل کروی (Spherical)، پایدار (Stable)، نمایی (Exponential) و فراگیر (Universal) تعیین گردید. مراحل انجام کار جهت پیش بینی تغییرات در شکل (۱) نشان داده شده است.

$I_{ER} < 0$  ریسک کم،  $0 < I_{ER} < 3$  ریسک متوسط،  $3 < I_{ER} < 5$  ریسک بالا،  $I_{ER} > 5$  ریسک بسیار بالا است (۱۴). پس از جمع آوری اطلاعات و محاسبه شاخص ها کلیه تجزیه و تحلیل های آماری در نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف به منظور تبدیل داده های نقطه ای به داده های سطحی در محیط نرم افزار ArcGIS بهترین روش زمین آماری کریجینگ (ساده (Simple)، معمولی



شکل ۱. ساختار مدل زمین آمار برای پیش بینی تغییرات شاخص های اکولوژیکی در منطقه مورد مطالعه

های عمده این روش است. به این مفهوم که مقدار تخمین کمیت در نقاط نمونه برداری با مقادیر اندازه گیری شده برابر است و واریانس تخمین صفر می گردد. فرمول کلی روش کریجینگ به صورت رابطه (۵) تعریف می شود:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad \text{رابطه ۵}$$

روش درون یابی کریجینگ: روش کریجینگ روشی بسیار پیشرفته جهت تحلیل مکانی و توزیع منطقه ای داده های مکانی است. در این تکنیک، از یک روش میانگین وزنی برای توزیع متغیرها استفاده می شود، به این صورت که هرچه متغیر به مبدا نزدیک تر باشد، وزن آن بیشتر و هرچه دورتر باشد وزن کمتری را خواهد داشت. مطلق بودن درون یابی از ویژگی-

استاندارد شده (Mean standardized) در محیط GIS نسخه ۱۰/۵ صورت گرفت (روابط ۷، ۸ و ۹). هرچه RMS و MS کمتر و RMSS به ۱ نزدیکتر باشد مدل از کارایی بیشتری برخوردار است. برخی محققان RMS را به عنوان پارامتر مهمی جهت نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS می‌دانند. در این روش در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌گردد و در پایان به ازای هر نقطه مشاهده‌ای یک نقطه برآورد وجود خواهد داشت.

$$RMSS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(s_i) - z(s_i))^2}{n}} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$MS = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(s_i) - z(s_i)) / \delta(s_i)}{n} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$RMS = \frac{\sum_{i=1}^n [(Z(s_i) - z(s_i))^2]^{0.5}}{n} \quad \text{رابطه ۹}$$

در این روابط  $Z(s_i)$  و  $z(s_i)$  به ترتیب مقدار تخمین زده شده و مقدار واقعی متغیر  $Z$  در نقطه  $s_i$  و  $n$  تعداد کل مشاهده‌ها، می‌باشد (۱۷).

### نتایج

بررسی داده‌های غلظت کروم، کادمیوم، آلومنیوم، وانادیوم و منگنز اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشترین غلظت فلز سنگین در منطقه مربوط به آلومنیوم با مقدار ۶۳۱۷۴ و کمترین آن مربوط به کادمیوم با مقدار ۱/۲۰ است. غلظت سایر فلزات در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین غلظت آلومنیوم، منگنز، وانادیوم، کروم و کادمیوم به ترتیب ۵۱۱۰۹/۱۱، ۲۴۸/۰۲، ۱۵۲/۷۴، ۵۹/۵۴ و ۲/۰۷ mg/kg در غبار اندازه‌گیری شد. درصد خطای نمونه‌برداری برای آلومنیوم، منگنز، وانادیوم، کروم و کادمیوم به ترتیب ۶/۹۵، ۹/۸۷، ۱۱/۴۳، ۱۳/۲۱ و ۵/۹۱ درصد به دست آمد. بر اساس شاخص ریسک محیط زیستی کلیه نمونه‌های غبار در ریسک بسیار بالا قرار گرفتند. درصد سهم عناصر آلومنیوم، کادمیوم، کروم، منگنز و وانادیوم در افزایش ریسک محیط زیستی به ترتیب برابر با ۳۰/۵۳، ۲۴/۱۹، ۱۱/۴۵، ۶/۰۹ و ۲۷/۷۲ است. بر

در این رابطه  $z^*(x)$ : مقدار تخمین متغیر در نقطه‌ی مورد نظر  $\lambda_i$ : وزن یا اهمیت نمونه نام،  $n$ : تعداد مشاهدات و  $z^*(x_i)$ : مقدار مشاهده شده نمونه نام است (۱۵).

**نیم تغییرنما (Semivariogram):** واریانس مقدار عناصر بین نقاطی به فاصله‌ای  $h$  از یکدیگر می‌تواند همبستگی متقابل دو نقطه به فاصله  $h$  را بیان کند. در صورت وجود ساختار فضایی، طبیعی است که وابستگی مقادیر نقاط نزدیک به هم بیشتر از وابستگی مقادیر نقاط دور از هم است. بنابراین چنین واریانس می‌تواند معیاری برای نمایش تاثیرگذاری و یا تاثیرپذیری مقدار یک نمونه روی مقادیر محیط مجاور خود باشد. این واریانس وابسته به فاصله را تغییرنما می‌نامند. با تقسیم تغییرنما بر عدد ۲، نیم تغییرنما به دست می‌آید. با استفاده از رابطه (۶) می‌توان مقدار نیم‌تغییرنما را محاسبه کرد:

$$y(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [z(x+h) - z(x)]^2 \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه،  $n(h)$ : تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته به ازای یک فاصله‌ی مشخص مانند  $h$ ،  $z(x)$ : متغیر مشاهده شده در نقطه  $x$  و  $z(x+h)$ : مقدار متغیر مشاهده شده در نقطه به فاصله  $h$  از نقطه‌ای  $x$  می‌باشد. از مشخصات واریانس می‌توان به سقف آستانه‌ای نیم تغییرنما و اثر قطعه‌ای اشاره کرد. به مقدار ثابتی که نیم تغییرنما در دامنه تاثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه نیم‌تغییرنما به کار رفته‌اند. در روش کریجینگ نیم تغییرنمایی که به سقف مشخص می‌رسند، اهمیت بیشتری دارند. مقدار نیم تغییرنما در مبدا مختصات یعنی به ازای  $h=0$ ، اثر قطعه‌ای ( $C_0$ ) می‌باشد. در حالت ایده آل مقدار  $C_0$  باید صفر باشد. اما در بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی و یا غیرساختاردار متغیر ظاهر می‌شود (۱۶).

برای انتخاب بهترین مدل نیم تغییرنما در هر روش زمین آمار کریجینگ از روش اعتبارسنجی تقاطعی (Cross-validation) با استفاده از GIS انجام شده است. در این روش سه آماره مجذور مربع خطا (Root Mean Square) و مجذور مربع خطای استاندارد شده (Root mean square standardized) و میانگین

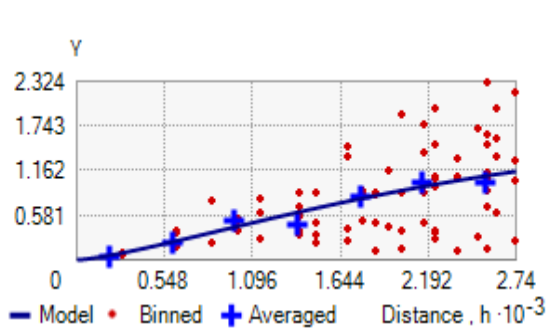
مدل پایدار برای شاخص واحد سمیت و مدل کروی برای شاخص ریسک محیط زیستی به عنوان برترین مدل‌ها انتخاب شدند.

در شکل‌های (۲) و (۳) نمودارهای نیم تغییرنما تجربی مدل منتخب برای پهنه‌بندی شاخص‌های مورد بررسی نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از پهنه بندی، بیشترین مقادیر شاخص‌های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی در پایین دست صنایع تخمین زده شد. به طوری که بیشترین مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب با مقادیر ۲۵ و ۱/۱۹ در نواحی جنوب غربی صنایع غیرفلزی بود. کمترین مقادیر این شاخص‌ها در نواحی شمالی غربی تا جنوب شرقی صنایع بود که تحت تاثیر جهت باد غالب منطقه قرار نداشتند. مقادیر شاخص ریسک محیط زیستی در این نواحی در محدوده ۸/۰۸ تا ۱۰/۶۶ و مقادیر شاخص تجمعی واحد سمیت در محدوده ۰/۴۳ تا ۰/۵۴ بود (شکل های ۴ و ۵).

اساس شاخص تجمعی واحد سمیت مشخص گردید دو عنصر کروم و کادمیوم در غبار فاقد سمیت حاد هستند (جدول ۱). در جدول (۲) مقادیر پارامترهای نظیر درصد وابستگی مکانی (نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه)، اثر قطعه، حد آستانه، تعداد گام، دامنه، RMS، RMSS، MS برای شاخص‌های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی نشان داده شده است. برای انتخاب بهترین روش درونیابی ابتدا درصد وابستگی مکانی مدل‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به این صورت مدل‌های که درصد نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه آن‌ها صفر بود (درصد وابستگی مکانی قوی) جدا گردید. سپس با مقایسه سه آماره RMS، RMSS، MS در بین مدل‌های منتخب به ارزیابی اعتبار سنجی تقاطعی مدل‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد، در میان روش‌های مختلف درونیابی، روش کریجینگ ساده به عنوان بهترین روش درونیابی برای شاخص‌های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی مناسب است. در روش کریجینگ ساده

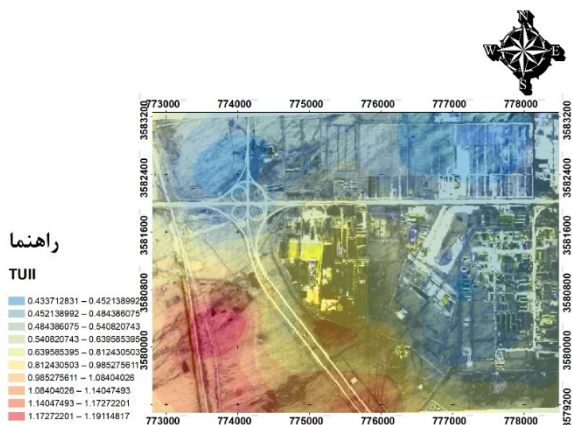
جدول ۱. آمار توصیفی غلظت عناصر، شاخص واحد سمیت و شاخص ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در نمونه‌های غبار

عناصر	ضریب تغییرات (%)				انحراف معیار ± میانگین				حداقل	حداکثر	غلظت فلزات سنگین (mg/kg)			
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر			حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کادمیوم	۱/۵۰	۶/۸۱	۴۹/۸۷	۳/۹۷±۱/۹۸	۰/۱۹	۰/۵۹	۴۰/۵۴	۰/۳۳±۰/۱۵	۱/۲۰	۲/۵۰	۱۷/۸۷	۲/۰۷±۰/۳۷		
کروم	۰/۸	۴/۳۵	۶۳/۲۹	۱/۸۸±۱/۱۹	۰/۲۲	۰/۶۶	۳۸/۸۸	۰/۳۶±۰/۱۴	۴۱	۱۰۷	۳۹/۹۰	۵۹/۵۴±۲۳/۷۶		
آلومنیوم	۲/۹۰	۶/۴۳	۲۴/۱۵	۵/۰۱±۱/۲۱	-	-	-	-	۳۳۲۱۲	۶۳۱۷۴	۲۰/۵۶	۵۱۱۰۹/۱۱±۱۰۵۱۱/۲۵		
منگنز	-۰/۶۱	۰/۱۱	۸۳/۳۳	-۰/۳۰±۰/۳۵	-	-	-	-	۲۴۶	۶۱۶	۲۹/۲۵	۲۴۸/۰۲±۱۲۵/۲۲		
وانادیوم	۲/۹۵	۹/۰۴	۸۸/۷۹	۴/۵۵±۴/۰۴	-	-	-	-	۱۰۸	۲۴۲	۳۳/۸۲	۱۵۲/۷۴±۵۱/۶۶		
شاخص ریسک محیط زیستی	-	-	-	-	-	-	-	-	۸/۰۸	۲۵/۰۳	۳۹/۱۵	۱۵/۱۲±۵/۹۲		
شاخص تجمعی واحد سمیت	-	-	-	-	۰/۴۳	۱/۱۹	۳۸/۳۵	۰/۷۳±۰/۲۸	-	-	-	-		



شکل ۳. نمودار نیم تغییرنا تجربی از نوع پایدار برای شاخص

واحد سمیت

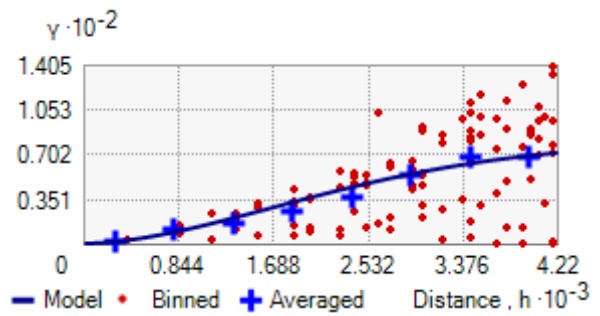


شکل ۵. نقشه توزیع مکانی شاخص واحد سمیت به روش کریجینگ

ساده

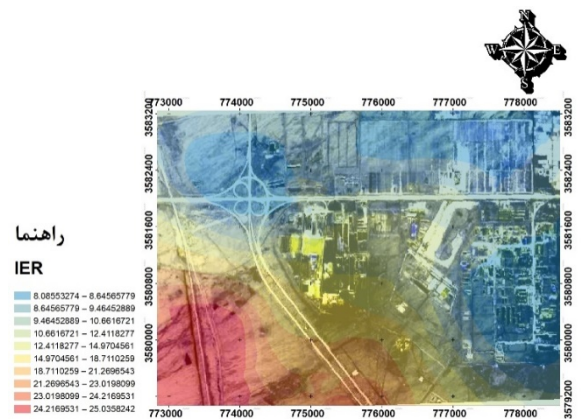
پیرامون صنایع تجمع می یابند، غلظت فلزات سنگین در غبار صنعتی با غلظت فلزات در خاک‌های سطحی اختلاف معنی‌داری را نخواهد داشت. بنابراین مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعاتی که بر روی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی پیرامون صنایع مختلف صورت گرفته است قابل قبول خواهد بود (۱۸). در پژوهش Han و Lu ترتیب میانگین غلظت فلزات سنگین کروم، منگنز و وانادیوم در گردوغبار نواحی صنعتی شمال غربی بوآتو چین به ترتیب برابر با منگنز (۵۲۷/۱) < کروم (۱۸۹/۶) < وانادیوم (۷۵/۵ mg/kg) به دست آوردند که بالاتر از مقادیر میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر است (۱۹).

Zamani و همکاران در بررسی میانگین غلظت فلزات سنگین کروم، منگنز و کادمیوم در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان، بیشترین میانگین غلظت (۳۶۰/۵۴ mg/kg)



شکل ۲. نمودار نیم تغییرنا تجربی از نوع کروی برای شاخص ریسک

محیط زیستی



شکل ۴. نقشه توزیع مکانی شاخص ریسک محیط زیستی به روش

کریجینگ ساده

### بحث

در پژوهش حاضر روند نزولی غلظت میانگین فلزات سنگین در غبار صنعتی به صورت آلومینیوم (۵۱۱۰۹/۱۱) < منگنز (۲۴۸/۰۲) < وانادیوم (۱۵۲/۷۴) < کروم (۵۹/۵۴) < کادمیوم (۲/۰۷ mg/kg) اندازه‌گیری شد. در بین عناصر بیشینه و کمینه غلظت مربوط به آلومینیوم و کادمیوم به ترتیب با مقادیر برابر با ۶۳۱۷۴ و ۱/۲۰ mg/kg بود.

اگرچه تاکنون مطالعه‌ای بر روی غلظت فلزات سنگین در غبار صنعتی صنایع کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن ماسه صورت نگرفته است، اما با مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در غبار اطراف صنایع با صنایعی نظیر سیمان و فولاد می‌توان به درک روشنی تاثیر صنایع مختلف در افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط رسید. از طرف دیگر از آن جایی که غبار حاصل از فعالیت‌های صنعتی در خاک‌های سطحی

جدول ۲. نتایج برازش مدل های مختلف نیم تغییرنا شاخص های اکولوژیکی و اعتبارسنجی تقاطعی آن ها در هر روش درون یابی کریجینگ

روش کریجینگ	شاخص	مدل نیم تغییرنا	درصد وابستگی مکانی	اثر قطعه ای	حد آستانه	تعداد گام	دامنه	RMS	RMSS	MS
معمولی	شاخص واحد سمیت	پایدار	۰	۰	۰/۰۸۰	۸	۲۰۳۰/۹۴	۰/۱۰۵	۱/۰۲	۰/۰۳۸
		نمایی	۰	۰	۰/۰۲۰	۷	۱۳۰۷/۸۱	۰/۱۰۶	۰/۸۴	۰/۰۰۷
		کروی	۰	۰	۰/۰۳۰	۸	۰/۱۰۸	۰/۱۰۸	۰/۹۵۳	۰/۰۲۵
		گوسی	۰	۰	۰/۰۳۴	۷	۷۴۴/۹۳	۰/۱۰۰	۱/۰۵	-۰/۰۰۷
معمولی	شاخص ریسک محیط زیستی	پایدار	۳/۴۴	۲/۴۴	۷۰/۸۳	۸	۳۸۴۷/۲۰	۱/۹۴	۰/۹۵	-۰/۰۱
		نمایی	۲/۴۷	۱	۴۰/۳۴	۶	۷۰۹۲/۲۶	۱/۸۷	۰/۵۸	۰/۰۳۹
		کروی	۱/۲۴	۱	۸۰/۴۶	۸	۶۰۲۶/۷۱	۱/۷۶	۰/۵۲	۰/۰۲۶
		گوسی	۳/۷۱	۲	۸۰/۷۰	۸	۵۰۳۴/۴۵	۲/۰۹	۰/۹۷	-۰/۰۶۸
ساده	شاخص واحد سمیت	پایدار	۰	۰	۱/۷۰	۷	۵۶۹۶/۹۳	۰/۰۹۲	۱/۰۰	۰/۰۲۶
		نمایی	۰	۰	۱/۲۰	۷	۶۲۰۹/۰۶	۰/۰۹۸	۰/۶۵۷	۰/۱۰۳
		کروی	۱/۳۷	۰/۰۲	۱/۴۵	۷	۷۰۳۹/۸۸	۰/۰۹۵	۰/۸۹۹	۰/۰۰۶
		گوسی	۹/۷۰	۰/۱۰۰	۱/۰۳	۷	۳۰۹۱/۶۱	۰/۱۰۳	۱/۰۷۲	-۰/۰۰۵
ساده	شاخص ریسک محیط زیستی	پایدار	۳/۸۷	۲/۷۲	۷۰/۲۷	۱۲	۵۰۸۳/۹۷	۱/۹۱	۰/۸۲۴	۰/۰۰۵
		نمایی	۰	۰	۵۰/۵۸	۷	۹۰۶۲/۹۷	۱/۷۸	۰/۶۴	۰/۰۵
		کروی	۰	۰	۴۰/۶۳	۷	۶۰۸۲/۹۷	۱/۷۷	۰/۸۲	۰/۰۵۲
		گوسی	۲/۲۱	۲	۹۰/۳۵	۷	۵۰۲۱/۹۸	۲/۰۵	۱/۱۴	-۰/۰۶۷
فراگیر	شاخص واحد سمیت	پایدار	۱/۹۲	۰/۰۰۱	۰/۰۵۲	۸	۱۰۷۴/۲۰	۰/۰۹۲	۰/۹۰۷	۰/۰۳۶
		نمایی	۰	۰	۰/۰۵۳	۷	۳۰۳۰/۹۴	۰/۱۰۴	۰/۷۴۴	۰/۰۵۰
		کروی	۰	۰	۰/۰۳۸	۷	۲۰۵۲/۰۸	۰/۱۰۷	۱/۰۰	۰/۰۳۱
		گوسی	۳/۳۳	۰/۰۰۲	۰/۰۶۰	۸	۱۱۹۰/۹۹	۰/۱۰۴	۱/۰۶	۰/۰۴۷
فراگیر	شاخص ریسک محیط زیستی	پایدار	۱/۲۴	۱	۸۰/۰۶	۸	۵۰۴۷/۲۰	۱/۸۳	۱/۰۵	۰/۰۰۸
		نمایی	۰	۰	۵۰/۱۲	۷	۵۰۴۷/۲۰	۱/۷۴	۰/۶۷	۰/۰۳۴
		کروی	۲/۸۵	۲	۷۰/۰۵	۸	۴۰۲۶/۲۲	۱/۹۵	۱/۰۵	-۰/۰۳
		گوسی	۰	۰	۵۰/۱۹	۶	۷۰۹۲/۲۶	۱/۷۴	۰/۵۶	۰/۰۴
گسسته	شاخص واحد سمیت	پایدار	۰/۳۱	۰/۰۰۳	۰/۹۵۰	۷	۲۸۸۸/۳۷	۰/۱۰۵	۰/۹۹۶	۰/۱۱۰
		نمایی	۱/۶۱	۰/۰۲۰	۱/۲۴۰	۷	۸۰۳۹/۸۸	۰/۱۰۷	۰/۸۳۸	۰/۱۰۶
		کروی	۰/۹۹	۰/۰۰۹	۰/۹۰۶	۷	۳۲۴۵/۲۰	۰/۱۰۷	۰/۸۱۵	۰/۰۹۲
		گوسی	۱/۱۳	۰/۰۰۹	۰/۷۹۲	۶	۱۹۵۸/۰۶	۰/۱۳۵	۱/۸۶۲	۰/۱۶۵
گسسته	شاخص ریسک محیط زیستی	پایدار	۰	۰	۵۲/۲۵	۹	۴۰۶۲/۹۷	۱/۸۵	۱/۱۱	۰/۰۶۱
		نمایی	۲/۴۷	۱	۴۰/۴۶	۹	۳۰۸۳/۹۷	۱/۸۹	۰/۵۲	۰/۰۶
		کروی	۰	۰	۲۰/۰۱	۶	۳۰۶۲/۹۷	۱/۸۹	۰/۸۵	۰/۰۹
		گوسی	۳/۹۵	۲	۵۰/۶۱	۸	۳۸۶۹/۶۵	۱/۹۷	۱/۰۷	-۰/۰۰۷

بود که بالاتر از مقادیر غلظت فلزات اندازه گیری شده در این مطالعه است (۸). Siyahati Ardakani و همکاران ترتیب میانگین

برای عنصر منگنز به دست آوردند. برای عناصر کروم و کادمیوم به ترتیب غلظت میانگین برابر با ۴۲/۱۶ و ۸/۸۱ mg/kg



برازش را داشته و به عنوان بهترین مدل‌های پیش بینی پراکندگی این دو شاخص در منطقه پیشنهاد می‌گردند که به این لحاظ با نتایج تحقیقات Khaledan و همکاران (۱۵)، Yari و همکاران (۲۱) و Siyahati Ardakani و همکاران (۲۰) هم‌خوانی دارد.

درون‌یابی شاخص‌های تجمعی واحد سمیت و ریسک محیط زیستی فلزات سنگین بر اساس روش های کریجینگ و مدل های تجربی نیم تغییرنا نشان می‌دهد که مقادیر این شاخص‌ها در ایستگاه‌های پایین دست صنایع بیشتر است که احتمالاً جهت باد غالب منطقه نقش مهمی در پراکندگی عناصر و افزایش ریسک داشته باشد. برخی محققین از جمله Houdaji و همکاران (۲۲)، Modis و همکاران (۲۳)، Mahmoudi و همکاران (۲۴)، Li و همکاران (۲۵) و Dragovic و همکاران (۲۶) جهت باد را به عنوان یکی از عوامل پراکندگی فلزات سنگین بیان نموده اند. از محدودیت‌های اصلی اجرای این تحقیق می‌توان به خطای اندازه‌گیری عناصر توسط ICP-MS، هزینه‌های زیاد مواد جهت آنالیز فلزات سنگین و محدودیت‌های زمانی اشاره کرد.

#### نتیجه‌گیری

فلز آلومینیوم نسبت به سایر عناصر بیشترین سهم در افزایش ریسک محیط زیستی غبار صنعتی دارد. در فصل زمستان دو فلز کادمیوم و کروم سمیت حادی در غبار منطقه ایجاد نکرده‌اند. به طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد، با ارزیابی صحیح مدل های مختلف نیم تغییرنا و اعتبار سنجی تقاطعی معیارها در روش کریجینگ می‌توان با دقت قابل قبول، نقشه شاخص های واحد سمیت و ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در منطقه تهیه نمود. با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان به تاثیر غبار ناشی از فرآیندهای صنعتی کارخانجات کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن ماسه در افزایش ریسک محیط زیستی عناصر پی برد. در این میان نقش جهت باد غالب بسیار چشمگیر است. انتشار غبارات حاوی فلزات سمی می‌تواند عاملی برای آلودگی خاک در اراضی اطراف باشد، بنابراین پیشنهاد می‌گردد جهت کاهش انتشار

غلظت فلزات سنگین وانادیوم، کروم و کادمیوم در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله‌سازی و فولادسازی به صورت وانادیوم ( $160 < \text{کروم} < 100$ ) کادمیوم ( $0/11 \text{ mg/kg}$ ) اندازه‌گیری نمودند (۲۰).

اگرچه نتایج مقادیر شاخص تجمعی واحد سمیت، بیانگر غیر-سمی بودن کروم و کادمیوم در غبار صنعتی بود، اما نتایج شاخص تجمعی ریسک محیط زیستی نشان داد فلزات سنگین غبار صنعتی در کلاس ریسک بسیار بالا قرار دارند. بر اساس شاخص ریسک محیط زیستی فلز آلومینیوم بیشترین سهم در افزایش ریسک داشت. سهم سایر فلزات در افزایش ریسک محیط زیستی به ترتیب وانادیوم < کادمیوم < کروم < منگنز بود. بالا بودن کلاس ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در منطقه احتمالاً دلالت بر انتشار آلودگی ناشی از فرآیندهای صنعتی کارخانجات کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن ماسه و یا توسعه صنایع فولاد و گندله سازی در فاصله ۴ الی ۱۳ کیلومتری از محدوده مورد مطالعه دارد. Parsa و Choobkar درجه ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در منطقه سر پل ذهاب کرمانشاه به ترتیب  $0/74\%$  در کلاس ریسک کم،  $82/22\%$  در کلاس متوسط،  $14/98\%$  در کلاس بالا و  $1/06\%$  در کلاس ریسک بسیار بالا تعیین نمودند (۱۴).

نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه شاخص قدرت ساختار مکانی در متغیرها می‌باشد که به سه دسته قوی، متوسط و ضعیف دسته‌بندی می‌شوند. به طور معمول همبستگی مکانی قوی به فاکتورهای ذاتی و همبستگی مکانی ضعیف به تاثیر فاکتورهای بیرونی نسبت داده می‌شود. بنابراین با مطالعه ساختار مکانی داده‌ها می‌توان عوامل کنترل‌کننده یا منشاء تغییرپذیری آن‌ها تعیین کرد. بر اساس جدول (۲)، در روش های مختلف کریجینگ، نسبت اثر قطعه به حد آستانه برای هریک از مدل های نیم تغییرنا شاخص اکولوژیکی متفاوت بود. نتایج ارزیابی پارامترهای مختلف مدل های نیم تغییرنا تجربی برای هر یک از شاخص ها نشان داد مدل کروی برای شاخص ریسک محیط زیستی و مدل پایدار برای شاخص واحد سمیت بهترین

### تضاد منافع

در این پژوهش هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

### مشارکت نویسندگان:

(۱) مفهوم‌پردازی و طراحی مطالعه، جمع آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها: سعید شجاعی برجوئی، حمیدرضا عظیم زاده، اصغر مصلح آرانی، محمدرضا علمی

(۲) تهیه پیش نویس مقاله، بازبینی آن جهت تدوین محتوای اندیشمندانه: سعید شجاعی برجوئی، حمیدرضا عظیم زاده، اصغر مصلح آرانی، محمدرضا علمی

(۳) تایید نهایی دستنوشته پیش از ارسال به مجله: سعید شجاعی برجوئی، حمیدرضا عظیم‌زاده، اصغر مصلح آرانی، محمدرضا علمی

آلودگی از این مراکز صنعتی، کارایی سیستم های فیلتراسیون برای حذف ذرات بررسی شود و همچنین تاسیساتی نظیر دودکش ها به سیستم های پایش آنلاین جهت اندازه گیری مداوم غلظت غبار خروجی مجهز شوند. از دیگر راهکارهای کنترل انتشار آلودگی میتوان به ایزولاسیون نوار نقاله و کاهش استفاده از مواد حاوی فلزات سمی در فرآیند تولید شیشه و کاشی سرامیک و غیره اشاره نمود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله دارای کد اخلاق IR.YAZD. REC.1398.027 برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۷ اجرا شده است. نویسندگان از کلیه افرادی که در انجام این پژوهش یاری نمودند، نهایت سپاس و قدردانی ابراز می نمایند.

## References

1. Kumar V, Sharma A, Kaur P, Sidhu GP, Bali AS, Bhardwaj R, et al. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. *Chemosphere*. 2019;216:62-449.
2. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, kuchakzadeh MR, MoslehArani A, Sodaiezadeh H. Dispersion and Health Risk Assessment of PM<sub>10</sub> Emitted from the Stacks of a Ceramic and Tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, Using the AERMOD Model. *Iranian South Medical Journal*. 2019;22(5):317-32. [Persian].
3. Yazdaninejad F, Torabi H, Davatgar N. Mapping of Available Fe, Zn, Cu and Mn in Soils of Southern Tehran Lands by Geostatistical and GIS Techniques. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2014;44(4):95-383. [Persian].
4. Dinsdale D, Salibian-Barrera M. Methods for preferential sampling in geostatistics. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*. 2019;68(1):181-98.
5. Zamani R, Akhonalı AM, Solaimani K, Ansari F, Allahbakhshian P. Application of Geostatistics in Zone Classification of Drought Severities (Case Study: Fars Province). *Journal of Watershed Management Research*. 2013;3(6):15-29 [Persian].
6. Lv J. Multivariate receptor models and robust geostatistics to estimate source apportionment of heavy metals in soils. *Environmental pollution*. 2019;244:72-83.
7. Nowrouzi A, Ravanbakhsh MH. Assessment of Cadmium spatial distribution in surface soil in the vicinity of Shiraz refinery by geostatistical method. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2017;19(5):205-14 [Persian].
8. Zamani AA, Ahmadpour E, Zanganeh A, Khosravi Y. Mapping the heavy metals proportions in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone. *Journal of Research in Environmental Health*. 2017;3(1):40-55 [Persian].
9. Ghaznfari Moghaddam MS, Oraee J. Distribution of Copper Concentration in Soil affected by Meyduk Mining Activities (Shahr-Babak). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;21(2):103-10 [Persian].
10. Nikravesht M, Karimi A, Esfandiarpour Borujeni I, Fotovat A. Multivariate and geostatistical analyses of selected heavy metals in surface soils of Semnan industrial complex and surrounding areas. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2019;17(2):163-74 [Persian].
11. Yadegarnia Naeini F, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A, Sotoudeh A, Kiani B. Ecological risk assessment of heavy metals from cement factory dust. *Environmental Health Engineering And Management Journal*. 2019;6(2):1-9.
12. Zare Chahooki MA, Bihamta MR. *Principal of statistics for the natural resources science*. Tehran: Tehran University Publication; 2011. p. [In Persian].
13. Rastmanesh F, Zarasvandi A, Birgani AB. Investigation of the Impact of Abadan Petrochemical Complex and Petroleum Refinery on Soil Heavy Metal and Sulfur Concentrations. *Environmental Sciences*. 14(2):49-60 [Persian].
14. Choobkar N, Parsa F. Assessing the level of heavy metals pollution in the agriculture soil of Zahab plain, Kermanshah (Case study: As, Pb and Cd). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;20(4):71-9.
15. Khaledan Sh, Taghavi L, Paykanpour Fard P. Investigation of spatial distribution of lead

- and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex). *Journal of Health and Environmental*. 2017;10(2):151-64 [Persian].
16. Mahmoudabadi E, Sarmadian F, Nazary Moghaddam R. Spatial distribution of soil heavy metals in different land uses of an industrial area of Tehran (Iran). *International journal of environmental science and technology*. 2015;12(10):3283-98.
17. Elleithy D, Hassan A, Hagraas M, Riad P. Best applicable geostatistical model for interpolating groundwater-levels in El-Obour city, Egypt. *WIT Transactions on The Built Environment*. 2015;168:435-46.
18. Delavar MA, Safari Y. Spatial distribution of heavy metals in soils and plants in Zinc Town, northwest Iran. *International journal of environmental science and technology*. 2016;13(1):297-306.
19. Han X, Lu X. Spatial distribution, environmental risk and source of heavy metals in street dust from an industrial city in semi-arid area of China. *Archives of Environmental Protection*. 2017;43(2):10-9.
20. Siyahati Ardakani GhR, Mirsanjari M, Azimzadeh HR, Solgi E. The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;11(3):464-49 [Persian].
21. Yari Y, Momtaz HR, Taheri M. Spatial Distribution of Some Heavy Metals in Soils of Zanjan Industrial Region. *Water and Soil Science*. 2016;26(1):223-36 [Persian].
22. Houdaji M, Jallalyan A. Distribution of iron, zinc and lead in soil and crops in the Mobarakeh steel plant region. *Journal of Environmental Studies*. 2004;30(36):15-26.
23. Modis K, Vatalis KI, Sachanidis Ch. Spatiotemporal risk assessment of soil pollution in a lignite mining region using a Bayesian maximum entropy (BME) approach. *International journal of coal geology*. 2013;112:173-9.
24. Mahmoudi S, Mohammadi J, Naderi M. Statistical and spatial distribution of some heavy metals in surface soil particle size fractions in South of Isfahan. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013;20(2):1-22 [Persian].
25. Li X, Lee S, Wong S, Shi W, Thornton I. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental pollution*. 2004;129(1):113-24.
26. Dragovic R, Gajic B, Dragovic S, Dordevic M, Dordevic M, Mihailovic N, et al. Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). *Journal of Cleaner Production*. 2014;84:550-62.

## Spatial Distribution of Toxicity Unit Index and Environmental Risk Assessment of Some Heavy Metals in Industrial Dust of Ardakan county Based on Geostatistical Analysis in 2018

Saeed Shojaee Barjoe<sup>1\*</sup>, HamidReza Azimzadeh<sup>1</sup>, Asghar Mosleh Arani<sup>1</sup>, Mohammadreza Elmi<sup>1</sup>

1. Department of Environment, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

Corresponding author: [said.shojaee71@gmail.com](mailto:said.shojaee71@gmail.com)

### Abstract

**Background & Aim:** Heavy metals are including destructive pollutants of environment which important due to adverse physiological effects on living organisms at low concentrations. Aims of performance this study was to measure the concentration of some heavy metals in industrial dust, as well as evaluate and Spatial Distribution the Toxicity Unit indices and Environmental Risk of metals using kriging geostatistical techniques.

**Methods:** This descriptive-analytical and cross-sectional study was carried out in winter of 2018 by installing 35 dust sampler stations around the some of industries in Ardakan county. To collect dust samples and measurement concentrations of cadmium, chromium, vanadium, manganese and aluminum by ICP-MS, Toxicity Unit and Environmental Risk indices of elements were evaluated. Considering the ratio of Nugget to Sill in spherical, Gaussian, stable and exponential semivariogram models and validation using criteria such as Root mean square, Root mean square standardized and Mean standardized, best method of Kriging was selected for preparing spatial distribution map of indices.

**Results:** Mean concentrations of aluminum, manganese, vanadium, chromium and cadmium were 51109.11, 248.02, 152.74, 59.54 and 2.07 mg/kg, respectively. Environmental Risk of industrial dust was determined in very high class. Toxicity Unit index of industrial dust was less than 4. Results of investigation of semivariogram parameters and validation of criteria showed, best method for spatial distribution of indices was simple kriging method with spherical semivariogram models for Environmental Risk index and stable for Toxicity Unit index.

**Conclusion:** In winter season, cadmium and chromium do not cause acute toxicity in dust. Results this study expressing impact of industrial in increasing environmental risk of heavy metals. Also, direction of local dominant wind has an important role in dispersion of heavy metals.

### Keywords:

Industrial dust,  
Geostatistics,  
Heavy metals,  
Toxicity unit,  
Environmental risk  
index

**How to Cite this Article:** Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A, Elmi M. Spatial Distribution of Toxicity Unit Index and Environmental Risk Assessment of Some Heavy Metals in Industrial Dust of Ardakan county Based on Geostatistical Analysis in 2018. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 2020;7(4):58-70.